Національна академія наук України

Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора

“25” 09 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ ІМ. А.М. ПІДГОРНОГО НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
№03534570
УКРАЇНА

Робоча програма навчальної дисципліни

Сучасні засоби комп’ютерного моделювання в енергетиці

(назва навчальної дисципліни)

Підготовки докторів філософії

зі спеціальності G4 Енерговиробництво

2025 / 2026 навчальний рік

Робочу програма навчальної дисципліни «Сучасні засоби комп'ютерного моделювання в енергетиці» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Теплоенергетика» підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю G4 Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика).

Розробники: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
Авраменко А.М., д.т.н., с.д., провідний наук. співробітник відділу термогазодинаміки енергетичних машин

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою інституту 25 вересня 2025 року, протокол № 9.

Програму схвалено на розширеному засіданні відділу моделювання та ідентифікації теплових процесів в енерготехнологічному обладнанні.

Протокол № 4 від 22.09.2025 р.

В.о. завідувача відділу

_____ Орлова Н. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-технічною проблемною радою «Енергомашинобудування. Теплова та відновлювальна енергетика. Екологія».

Протокол № 6 від 25.09.2025 р.

Заступник голови НТПР _____

_____ Костіков А. О.___
(підпис) (прізвище та ініціали)

1. Опис навчальної дисципліни

Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є формування знань в галузі сучасних засобів комп'ютерного моделювання процесів в енергетиці та оволодіння навичками розрахунку задач тепломасообміну і теплонапруженого стану.

Перелік компетентностей та програмних результатів навчання, що забезпечує дисципліна

Компетентності

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
ЗК3. Здатність розв'язувати комплексні проблеми у сфері теплоенергетики на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

ФК1. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукові результати, які створюють нові знання у сфері теплоенергетики та дотичних до неї міждисциплінарних напрямах.
ФК4. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.
ФК6. Здатність розробляти математичні моделі, що адекватно описують теплофізичні та термодинамічні процеси в досліджуваних об'єктах.
ФК7. Здатність застосовувати сучасні методи і програмні засоби для розв'язання задач тепломасообміну і термодинаміки в об'єктах отримання, перетворення та споживання теплової енергії.
ФК8. Здатність проводити обчислювальні експерименти з обробкою розрахункових даних, аналізувати та інтерпретувати теплофізичні дані, які отримано розрахунковим та/або експериментальним шляхом.

Програмні результати навчання

ПРН1. Мати передові концептуальні та методологічні знання з теплоенергетики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з теплоенергетики, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.
ПРН3. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень, спостережень, тощо і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.
ПРН4. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у теплоенергетиці та дотичних міждисциплінарних напрямах.
ПРН9. Ефективно використовувати сучасні програмні засоби для моделювання, ідентифікації і оптимізації тривимірних нелінійних теплофізичних процесів в об'єктах отримання, перетворення і споживання енергії.

Характеристика навчальної дисципліни

Вибіркова (Нормативна)	
Кількість кредитів - 3	
Рік підготовки	2-й
Семестр	1-й
Загальна кількість годин	90
Лекції	24 год.
Практичні, семінарські заняття	6 год.
Індивідуальні заняття	-
Самостійна робота	60 год.
Вид підсумкового контролю	залік

2. Зв'язок з іншими освітніми компонентами

Освітні компоненти, що передують вивченню:
ОК1 Філософські проблеми наукового пізнання
ОК2 Іноземна мова професійного спрямування
Освітні компоненти, які розвивають результати навчання за цією дисципліною:
немає

3. Заплановані результати навчання

Після вивчення курсу аспіранти повинні:

Знати: основні закони тепломасообміну і термодинаміки; методи проведення наукових досліджень, у сфері теплоенергетики та дотичних до неї міждисциплінарних напрямах.

Вміти: використовувати сучасні програмні засоби для моделювання, ідентифікації і оптимізації тривимірних нелінійних теплофізичних процесів в об’єктах отримання, перетворення і споживання енергії.

Розуміти: основні методи та підходи по дослідженню та оптимізації тепломасообмінних і термодинамічних процесів в об’єктах отримання, перетворення та споживання теплової енергії.

4. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Теплопровідність
Тема 1. Рішення стаціонарних задач теплопровідності.
Тема 2. Розв’язання нестаціонарних задач теплопровідності
Розділ 2. Теплонапружений стан
Тема 1. Моделювання термонапруженого стану біметалевих конструкцій
Тема 2. Моделювання стану опорних конструкцій
Тема 3. Методи чисельного моделювання вимушеної конвекції
Розділ 3. Складний теплообмін
Тема 1. Моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії

Тема 2. Порядок моделювання геометрії і розрахункової сітки.
Тема 3. Розв'язання задач конвективного теплообміну
Тема 4. Порядок моделювання термонапруженого стану плоско-овальної труби
Тема 5. Розв'язання задач вільної конвекції
Розділ 4. Конвективний теплообмін
Тема 1. Короткі теоретичні відомості щодо моделювання процесів вільної конвекції
Тема 2. Порядок вирішення задачі вільної конвекції
Розділ 5. Моделювання процесів згоряння
Тема 1. Моделювання змішування та спалювання газів.
Тема 2. Стислі теоретичні відомості
Тема 3. Порядок моделювання спалювання газів

5. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин						
	усього	у тому числі					
		лекції	практ.	лаб.	сем.	інд.	с.р.
1	2	3					
Розділ 1. Теплопровідність							
Тема 1. Рішення стаціонарних задач теплопровідності	8	2	2				4
Тема 2. Розв'язання нестаціонарних задач теплопровідності	6	2					4
Разом за розділом 1	14	4	2				8
Розділ 2. Теплонапружений стан							
Тема 1. Моделювання термонапруженого стану біметалевих конструкцій	6	2					4
Тема 2. Моделювання стану опорних конструкцій	6	2					4
Тема 3. Методи чисельного моделювання вимушеної конвекції	6	2					4
Разом за розділом 2	18	6					12
Розділ 3. *Складний теплообмін*							
Тема 1. Моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії	8	2	2				4
Тема 2. Порядок моделювання геометрії і розрахункової сітки	6	2					4
Тема 3. Розв'язання задач конвективного теплообміну	6	2					4
Тема 4. Порядок моделювання термонапруженого стану плоско-овальної труби	6	2					4
Тема 5. Розв'язання задач вільної конвекції	5	1					4
Разом за розділом 3	31	9	2				20

Розділ 4. ***Конвективний теплообмін***							
Тема 1. Короткі теоретичні відомості щодо моделювання процесів вільної конвекції	5	1					4
Тема 2. Порядок вирішення задачі вільної конвекції	5	1					4
Разом за розділом 4	10	2					8
Розділ 5. ***Моделювання процесів згоряння***							
Тема 1. Моделювання змішування та спалювання газів	7	1	2				4
Тема 2. Стислі теоретичні відомості	5	1					4
Тема 3. Порядок моделювання спалювання газів	5	1					4
Разом за розділом 5	17	3	2				12
Усього годин	90	24	6				60

6. Самостійна робота

Метою самостійної роботи є навчитися користуватися сучасними програмними комплексами, які використовують метод скінчених елементів та скінчених об'ємів та здатність проводити літературний пошук по сучасним методам чисельного моделювання тепломасообмінних і термодинамічних процесів в об'єктах отримання, перетворення та споживання теплової енергії. Види самостійної роботи аспіранта: опрацювання лекційного матеріалу; опрацювання тем курсу, які виносяться на самостійне вивчення; виконання завдань для самостійної роботи, відвідування консультацій; підготовка до підсумкового контролю.

Теми для самостійного вивчення

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Стаціонарна теплопровідність плоскої стінки	4
2	Стаціонарна теплопровідність циліндричної стінки	4
3	Нестаціонарна теплопровідність плоскої стінки	4
4	Нестаціонарна теплопровідність циліндричної стінки	4
5	Формування скінченоелементної сітки	4
6	Граничні умови теплообміну	4
7	Чисельне моделювання конвективного теплообміну	4
8	Розрахунок термонапруженого стану деталей енергоустановок (ДВЗ, ГТД)	4
9	Теплонапружений стан поршня	4
10	Теплонапружений стан випускного клапана	4
11	Теплонапружений стан лопатки турбіни ГТД	4
12	Моделювання процесу течії рідини та газу у каналах складної форми	4
13	Моделювання процесу змішування газів	4
14	Моделювання процесу згоряння	4
15	Моделювання процесу формування токсичних сполук	4
	Разом	60

Завдання для самостійної роботи

1. Провести огляд сучасних методів моделювання стаціонарної теплопровідності https://ansyshelp.ansys.com/Account/Secured?Token=9ha1schrs2911de49e949dkjrie399rj%3aWF8VkKlBmu74fUf0awhA6%2bOCTCRPiBZ%2fBXl8deN3N64%3d%3a823d17344fd84ba08e384828aabf10a1%3a1708000553&returnurl=/Views/Secured/corp/v191/wb_sim\ds_Home.html#ds_Home
2. Провести огляд сучасних методів моделювання нестаціонарної теплопровідності https://ansyshelp.ansys.com/Account/Secured?Token=9ha1schrs2911de49e949dkjrie399rj%3a6T2TTtqEb8yF%2b8usMuh8zTBWsiRw1iv7XE571W4qItU%3d%3a740f3c221d3241f2bfe3368a3e1f1909%3a1708000662&returnurl=/Views/Secured/corp/v191/wb_sim\ds_Home.html#ds_Home
3. Провести огляд сучасних методів моделювання теплонапруженого стану https://ansyshelp.ansys.com/Account/Secured?Token=9ha1schrs2911de49e949dkjrie399rj%3aaOVoHczTOnAHEycFzTR109TX7IsGYLI5Fy2eqk3jDPQ%3d%3a53b609b3caa34a02a2a8f9c7963df2d4%3a1708000742&returnurl=/Views/Secured/corp/v191/wb_sim\ds_Home.html#ds_Home

4. Провести огляд сучасних методів моделювання процесу течії рідини та газу у каналах складної форми https://ansyshelp.ansys.com/Account/Secured?Token=9ha1schrs2911de49e949dkjrie399rj%3agTEG0UmJO4slZ5E3RIydU2Ff%2f4H0zdsLU%2bwB27M4s0s%3d%3a084a7f5819d84af59feb37b998e3c75c%3a1708000847&returnurl=/Views/Secured/corp/v191/cfx_mod\cfx_mod.html#cfx_mod

Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання видаються кожному аспіранту, з урахуванням тематики його досліджень і консультацій з науковим керівником.

За бажанням здобувача він може сам запропоновувати тему і зміст індивідуального завдання, виходячи із змісту навчальної дисципліни і тематики свого наукового дослідження, за умови узгодження їх з викладачем і науковим керівником.

Приклад індивідуальних завдань:

№	Тема
1	Провести літературний пошук по методам формування розрахункової сітки для чисельного моделювання процесу течії рідини та газу в каналах складної форми
2	Провести літературний пошук по методам адаптації розрахункової сітки до твердих стінок для чисельного моделювання процесу течії рідини та газу з високими швидкостями
3	Провести літературний пошук по використанню методу скінчених елементів для розрахунку термонапруженого стану оболонкових конструкцій
4	Провести літературний пошук по методикам верифікації математичних моделей процесів тепломасообміну у ґрунтових теплообмінниках
5	Провести літературний пошук по методикам розв’язання обернених задач теплопровідності

7. Методи навчання

При викладанні дисципліни застосовуються словесні, наочні та практичні методи навчання. Словесні та наочні методи навчання використовуються під час лекцій, практичних занять, самостійної роботи, консультацій. Під час проведення лекцій та практичних занять використовуються такі словесні методи як розповідь і пояснення. До числа наочних методів, які застосовуються при викладанні дисципліни, належать: ілюстрація, демонстрація.

8. Методи контролю

На заняттях – опитування. По закінченні вивчення розділу – усний контроль. Форма підсумкового контролю знань — залік.

9. Схема нарахування балів

Поточне тестування															Разом	Залік	Сума
Розділ 1		Розділ 2			Розділ 3					Розділ 4		Розділ 5					
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	Т7	Т8	Т9	Т10	Т11	Т12	Т13	Т14	Т15			
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	80	20	100

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

1. Уміння працювати з технічною та довідниковою літературою. 2. Уміння працювати самостійно або у команді над пошуком і аналізом існуючих конструкцій енергогенеруючого обладнання і розробкою нових. 3. Вміння використовувати сучасні програмні комплекси для дослідження тепломасообмінних і термодинамічних процесів в об'єктах отримання, перетворення та споживання теплової енергії.

Бали поточного контролю за кожною темою складаються з оцінювання відповідей під час усного опитування щодо засвоєння лекційного матеріалу (1 – розуміння окремих положень, 2 – розуміння особливостей опису граничних умов, 3 – знати методику моделювання теплонапруженого стану деталей і вузлів, 4 – розуміти необхідність адаптації розрахункової сітки при розв'язанні задач течії рідини та газу з високими швидкостями (1 – часткове розуміння матеріалу, 2 – досконале розуміння матеріалу) та оцінювання виконання завдання для самостійної роботи (1 – вміння вибрати математичний метод для розв'язання поставленої задачі; 2 – розробка методики розв'язання поставленої задачі, 3 – часткове застосування розробленої методики; 4 – повне застосування методики з отриманням частково помилкових результатів, 5 – вирішення поставленої задачі в цілому, 6 – повне вирішення поставленої задачі з творчим аналізом отриманих результатів).

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	для заліку
90 – 100	відмінно
70–89	добре
50–69	задовільно
1–49	незадовільно

10. Рекомендоване методичне забезпечення

Конспект лекцій
Перелік завдань і методичні матеріали для самостійної роботи

Основна література

1. Rusanov A.V. The new implicit ENO method for 3D viscous multi stage flow calculations / A.V. Rusanov, S.V. Yershov //Computational Fluid Dynamics '96. Proc. 3rd ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conf., September 9–13, 1996, Paris, France. – 1996. – P. 911–916.
2. Rusanov A.V. Numerical method for calculation of 3d viscous turbomachine flow taking into account stator // rotor unsteady interaction / A.V. Rusanov, S.V. Yershov / The 4th Colloq. Process Simulation, ed. A. Jokilaakso, 11–13 June 1997, Espoo, Finland, 1997. – P. 179–197.
3. Calculations of 3D viscous compressible turbomachinery flows / S. Yershov, A. Rusanov, A. Gardzilewicz, P. Lampart // Proc. 2nd Symp. on Comp. Technologies for Fluid/ Thermal/Chemical Systems with Industrial Applications, ASME PVP Division Conf., 1-5 August 1999, Boston, USA, PVP – 1999. – Vol. 397.2. – P. 143 – 154.
4. Investigations of flow characteristics of an HP turbine stage including the effect of tip leakage and windage flows using a 3D Navier-Stokes solver with source/sink-type boundary conditions / P. Lampart, A. Gardzilewicz, S. Yershov, A. Rusanov // Proc. 2000 Int. Joint Power Generation Conf. Miami Beach, Florida, July 23-26, 2000.– IJPGC2000-15004. – P. 1 – 8.
5. The comparison of performance of the Menter shear stress transport and Baldwin-Lomax turbulence models with respect to CFD prediction of losses in HP axial turbine stages / P. Lampart, J. Świrydczuk, A. Gardzilewicz, S. Yershov, A. Rusanov // Technologies for Fluid/Thermal/Structural/Chemical Systems with Industrial Applications, ASME 2001, PVP- Vol. 424-2, P. 1 – 12.

Допоміжна література

1. Авраменко А.М. Сучасні методи дослідження економічних, екологічних та ресурсних показників дизельних двигунів: монографія. – Харків: ІПМаш НАН України, 2019. 204 с. ISBN 978-966-02-9043-3.
2. Menon, P., Mittal, M. (2022). Modeling and Simulation of Diesel Engines Using CFD and Its Applications in Optimizing Various In-Cylinder Techniques. In: Agarwal, A.K., Kumar, D., Sharma, N., Sonawane, U. (eds) Engine Modeling and Simulation. Energy, Environment, and Sustainability. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8618-4_5
3. Abramchuk F., Makovyey R., Avramenko A. Method of improving energy, ecological and stength characteristics of the vehicle diesel engine. Автомобільний транспорт: сб. научн. пр. 2016. Вип. 38. С. 47–54.
4. Abramchuk F., Avramenko A. Impact of modern methods of managing diesel engine processes on harmful substances emission level. Procedia Environmental Science, Engineering and Management. 2019. Vol. 6. № 4. P. 523–533.
5. Abramchuk F., Avramenko A. (ONLINE). Prospects of Using Steel Pistons in Transport Diesel Engines. Periodica Polytechnica Transportation Engineering. 2019. https://doi.org/10.3311/PPtr.12466. P. 1–7.
6. Abramchuk F., Avramenko A. Numerical Simulation of Heat-and-Mass Transfer Processes in the Cooling Passages of a Cylinder Head in a Diesel Locomotive Engine. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2019. Vol. 63. № 1. P. 26–32

Інформаційні ресурси

1. Навчально-методичний комплекс навчальної дисципліни у сховищі Google Drive.
2. Мережа Internet.
3. Бібліотека ІЕМС НАН України.